

WALL FOUNDATION の水平抵抗に関する研究 (その 2)

—実大試験—

金谷 祐二 茶谷 文雄

Study on Lateral Resistance of WALL FOUNDATION (Part 2)

—Full-scale Tests—

Yuji Kanatani Fumio Chatani

Abstract

WALL FOUNDATION-pile (WF-pile) is a reinforced concrete slurry wall which functions as a pile foundation. Lateral loading tests were performed in the directions of short and long axes on full-scale piles of various rectangular sections, and the lateral behaviors of the piles were studied. The differences in the behaviors of the piles in the two directions and the influences of the shapes of piles were clarified from the test results. Simulation analyses were performed regarding the behaviors of these piles by using the solution of a differential equation about a beam resting on an elastic subgrade, and it was found that this analytical method is appropriate for predicting lateral behavior of WF-piles.

概 要

WALL FOUNDATION 杭 (以下, WF杭と略記する) とは, RC地中壁を杭として利用した場合の呼称である。種々の断面寸法を有する実大のWF杭に対し, 面外, および面内方向の水平載荷試験を実施し, 水平力に対するWF杭の挙動を調査した。この調査結果から, 水平力に対する両方向の挙動の相違, 杭断面の辺長比 (長辺/短辺) の影響などを明らかにした。また, WF杭を弾性床上の梁として扱い, WF杭に作用する地盤の抵抗力を杭前面の受働抵抗と杭側面の摩擦抵抗に分離し, それぞれを地盤反力係数によって評価する手法を, 実大のWF杭の挙動の解析に適用できることを確認した。

1. 序

前報では, 水平力を受ける WALL FOUNDATION 杭 (以下, WF 杭と略記する) の挙動を室内模型実験によって調査し, その挙動の特長について報告した。また, この模型実験結果から, WF 杭に作用する地盤の抵抗力を杭前面の受働抵抗と杭側面の摩擦抵抗とに分離し, それぞれを地盤反力係数で評価することによって, WF 杭を弾性床上の梁として扱えることを示した。

今回は, さらに, 実大実験によって, 水平力を受ける WF 杭の挙動を調査するとともに, 弾性床上の梁としての解析法の適用性について検討したので報告する。

2. 試験概要

試験杭は, 表-1 に示すように, 杭断面の短辺が一定, 長辺が異なる 3 種類の計 4 本である。II 杭, および III 杭の断面の長辺は, それぞれ I 杭断面の長辺の 2 倍, および 3 倍の関係になっている。

試験杭の名称		断面寸法		根入れ長
		a	b	
I 杭	I-o	60cm	220cm	19.3m
	I-i	同上	220	同上
II 杭		同上	440	同上
III 杭		同上	660	同上

表-1 試験杭

なお、各試験杭の鉄筋比は、約0.75%である。

試験地点付近の土質柱状図、および試験杭の配置図をそれぞれ図-1、図-2に示した。水平載荷試験は、各試験杭の面外、および面内方向について、図-2中に示す番号順に実施した。同図からわかるように、I杭については、面外載荷用と面内載荷用の試験杭を別途に築造したが、II杭、およびIII杭に関しては、面外および面内載荷用の試験杭を兼用させることとし、面内方向の試験終了後、10~15日の地盤の養生期間を置いて面外方向の試験を実施した。したがって、II杭、およびIII杭の面内方向については、躯体のコンクリートに曲げひび割れが発生しない荷重範囲で載荷を行ない、躯体に損傷を与えないよう注意した。なお、載荷装置の一例を図-3に示した。

試験方法は、急速3サイクルの一方方向載荷で、各サイクルとも、繰返し載荷の影響を調査する目的で3ループを描かせる方式とした(図-5参照)。なお、I杭、およびII杭の面外方向に関しては、上記の3サイクルの載荷終了後、さらに1~2サイクルを追加し、杭体の破壊付近まで載荷した。荷重保持時間は、各サイクル間のゼロ荷重階、および最終ゼロ荷重階のみ30分間とし、その他の荷重階はすべて5分間とした。なお、載荷高さは約40cmである。また、各試験杭の頭部には振動試験用のフーチングを設置したが、フーチング底面と地盤との間に間隙を設けたので、試験条件としては杭頭自由として扱った。

測定項目は、各杭の面内方向について

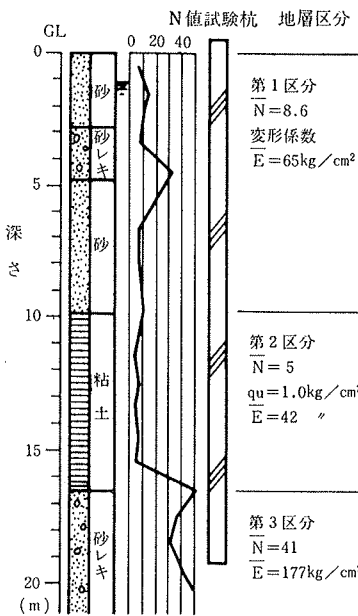


図-1 土質柱状図

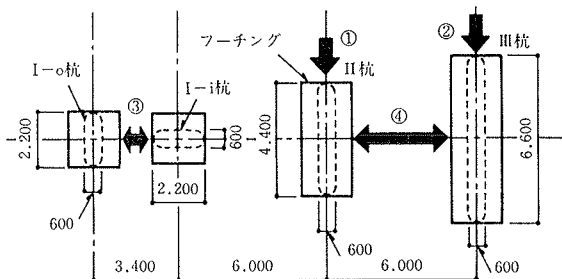


図-2 試験杭の配置

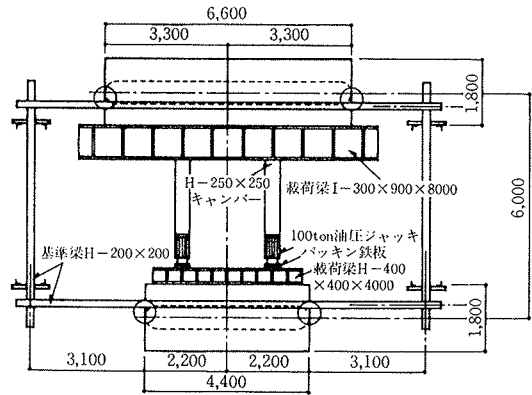


図-3 載荷装置図

は、杭頭の水平変位量、傾斜角、および主筋のヒズミである。一方、面外方向については、上記の測定の他、側圧・水圧を測定した。なお、本報告では(土圧+水圧)を側圧と呼称している。またII杭およびIII杭の面外方向については、杭の見付け幅が大きく、水平断面のたわみが予想されたので、深さ1.6mおよび3.1mの水平断面において、フープのヒズミも測定した。計器配置の一例を図-4に示した。

3. 試験結果と考察

3.1. 水平変位の測定結果について

水平変位の測定例として、II杭の面外方向、および

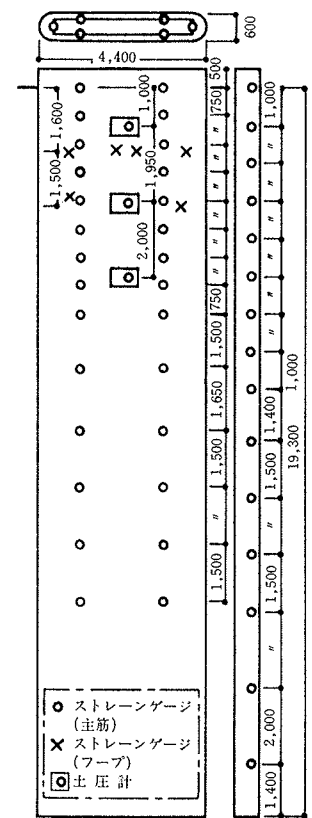


図-4 計器配置の一例

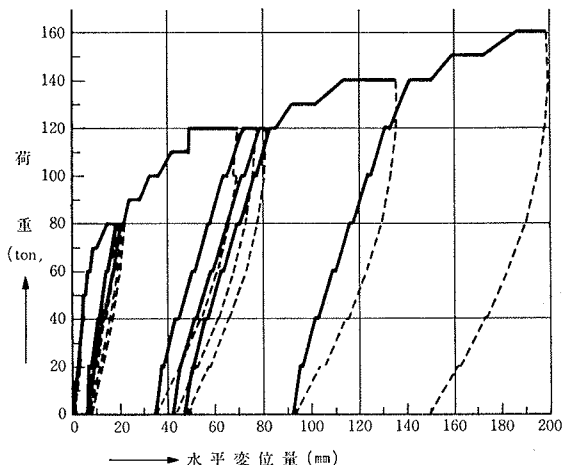


図-5 荷重~水平変位量曲線 (II杭, 面外)

びⅢ杭の面内方向(以下,Ⅱ杭(面外),Ⅲ杭(面内)と略記する)について,載荷点における荷重~水平変位量曲線をそれぞれ図-5,6に示した。これらの図から,繰返し載荷の影響を調査すると,WF杭の面外,および面内方向ともに,通常丸形断面杭と同様,低荷重時には繰返し載荷による水平変位の増加はきわめて小さいが,荷重が大きくなると,繰返し載荷による水平変位の増加も大きくなる傾向が認められる。

各杭の処女荷重時における荷重~水平変位量曲線の比較を図-7に示した。また,これらの荷重, P ~ 水平変位量, δ の関係を両対数紙上にプロットし, 図-8に示した。なお, これらの図中には, ヒズミの測定結果から推定した, 杭体の引張側コンクリートに曲げひび割れが発生した荷重階, および引張側鉄筋が降伏した荷重階を記号で示した。但し, 引張側鉄筋の降伏は, 鉄筋がSD30であることから, ヒズミが 1429×10^{-6} に達したときに生じると考えた。図-7によると, 各杭の面外方向, およ

びⅠ杭の面内方向については, ある荷重階で杭体の引張側コンクリートに曲げひび割れが発生し, 曲げ剛性が低下するために, 水平変位が急増する傾向が認められる。この水平変位の急増点は, 図-8に示す $\log P \sim \log \delta$ 曲線上で明確な折点となって現われる。なお, Ⅱ杭(面内), およびⅢ杭(面内)については, 本載荷範囲内では杭体に曲げひび割れが発生せず, 水平変位の急増現象も認められなかった。また, Ⅰ杭(面外), およびⅢ杭(面外)に関しては, 鉄筋降伏後も載荷を続行したが, 荷重は落ちることなく漸増し, Ⅰ杭(面外)で最大荷重95 tonの時, 水平変位約120 mm, 最大引張りヒズミ約 $14,000 \times 10^{-6}$, Ⅱ杭(面外)で最大荷重160 tonの時, 水平変位約200 mm, 最大引張りヒズミ $24,000 \times 10^{-6}$ に達した。この試験結果から, 本試験杭程度の鉄筋比を有するWF杭の面外方向については, 軸力がない状態であれば, かなり大きな変形性能を有していることがわかる。

また, 図-7によると, 面外, および面内方向とも, 当然のことながら, 断面寸法の大きな杭ほど同一荷重に対する水平変位が小さくなっている。また, 各杭とも,

面内方向の水平変位は, 同一荷重における面外方向の水平変位の1/2~1/4程度になっており, 水平力に対する明確な方向性が認められる。各杭について, 水平変位をパラメータとして, 面内方向と面外方向のバネ定数の比を求め, この比とWF杭断面の辺長比(長辺/短辺)との関係を図-

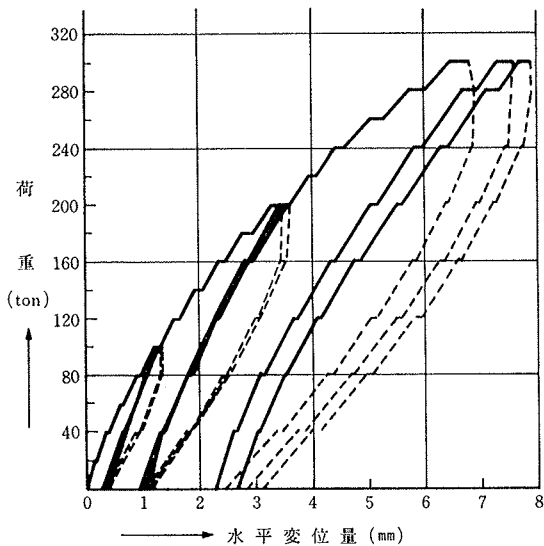


図-6 荷重~水平変位量曲線(Ⅲ杭, 面内)

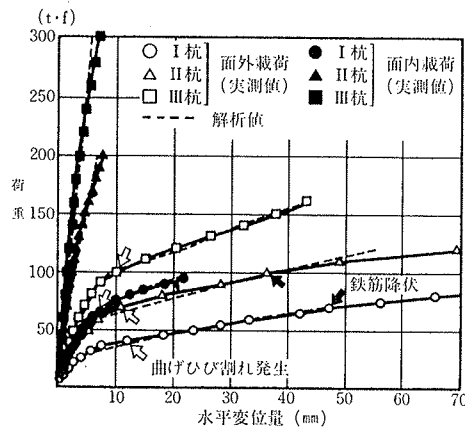


図-7 荷重~水平変位量曲線の比較

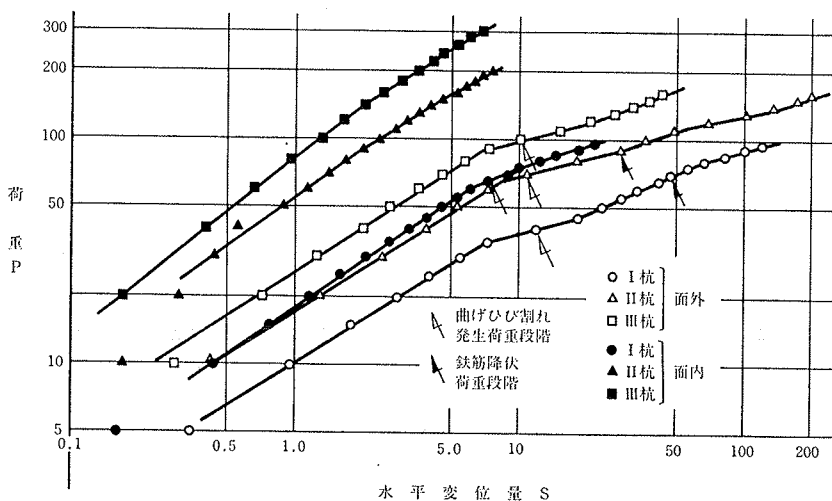


図-8 $\log P \sim \log \delta$ 曲線の比較

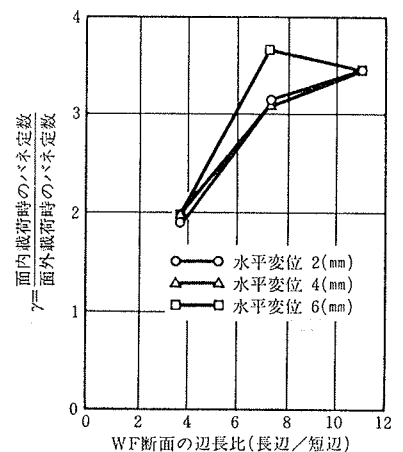


図-9 面内と面外方向のバネ定数の比較

9に示した。この図によると、辺長比の増大にともない、バネ定数の比も大きくなってはいるが、やや頭打ちになる傾向が認められる。これは、前報¹⁾で述べたように、WF 杭の面内方向については、断面の辺長比が大きくなると、杭体の曲げ剛性が大きくなり、杭全体が剛体的に回転するという短杭的な挙動が顕著になるためと考えられる。

3.2. ヒズミの測定結果について

WF 杭のようなコンクリート系の杭は、荷重増加にともない、ヒズミの深さ方向分布が著しく変化する。このような変化状況の一例として、II 杭（面外）について測定した荷重初期から破壊荷重付近に至る間のヒズミの深さ方向分布を図-10に示した。この図によると、杭体の引張側コンクリートに曲げひび割れが発生する前の低荷重域においては、引張側と圧縮側のヒズミがほぼ対称的な分布形状を示しているが、曲げひび割れ発生後の荷重増進においては、このような対称性がくずれ、引張側鉄筋のヒズミが急増する。さらに、破壊荷重付近では、最大曲げモーメント発生位置付近の引張側鉄筋が降伏してヒズミがきわめて大きくなるとともに、低荷重域であったこれと相対する位置の鉄筋が、引張側へと転じている。破壊荷重付近でのこのような現象は、地上部で行なう梁の曲げ試験において認められているが、本試験結果から、地盤中の WF 杭についても同様な現象が生じることを確認することができた。

WF 杭の水平荷重時におけるヒズミの深さ方向分布、曲げモーメント分布、および変形曲線の例として、III 杭（面外）、I 杭（面内）、およびIII 杭（面内）の各分布曲線を、それぞれ図-11~13に示した。これらの図中の変形曲線は、ヒズミの測定結果から曲率分布を求め、さらに、これを2回積分して求めたものである。なお、図には示していないが、I 杭（面外）、およびII 杭（面外）の各分布曲線は、III 杭（面外）とほぼ同様な性状を示しており、また、II 杭（面内）の各分布曲線は、I

杭（面内）とIII 杭（面内）の中間的な性状を示している。これらの図によると、ヒズミ分布曲線、および曲げモーメント分布曲線については、最大値、および第1ゼロ点の発生位置が、III 杭（面外）、I 杭（面内）、III 杭（面内）と曲げ剛性の高い順に深くなっている。また、III 杭については、同一荷重における面外、および面内載荷時の最大ヒズミ値を比較すると、面内載荷時のヒズミ値は、面外載荷時の1/2~1/10程度になっており、水平力に対して、面内方向の方が有利であることがわかる。変形曲線については、III 杭（面外）、およびI 杭（面内）は、たわみ性のある長杭的な性状を示しているが、III 杭（面内）については、若干のたわみ性は認められるものの、杭全体が剛体的に回転するという短杭的な性状を示している。

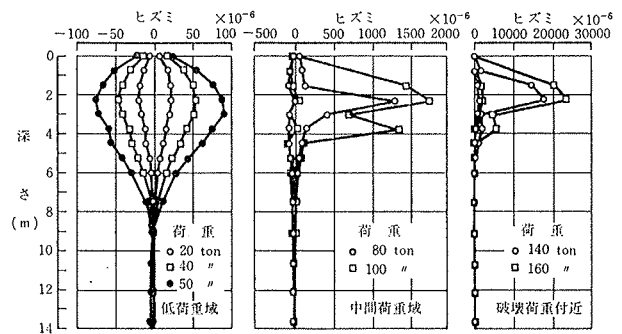


図-10 荷重増加にともなうヒズミ分布曲線の変化状況 (II 杭, 面外)

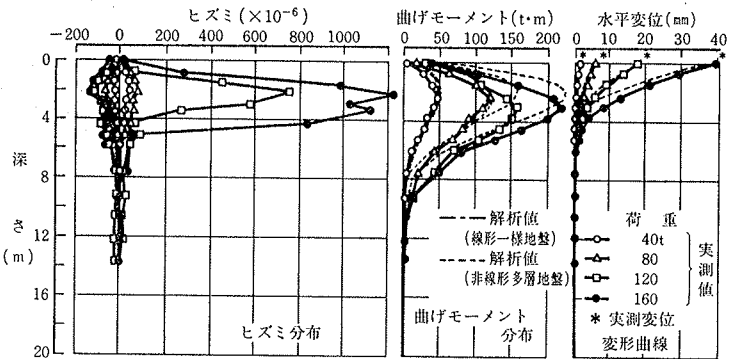


図-11 III 杭の面外載荷時における各分布曲線

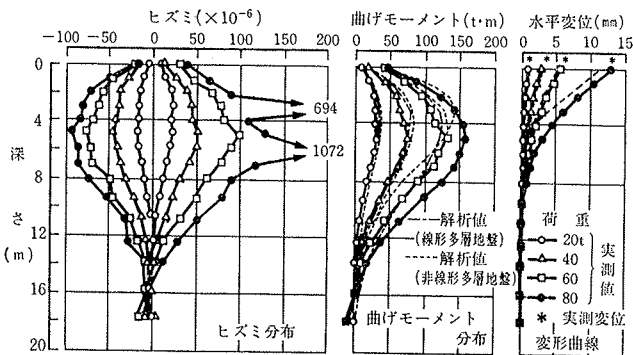


図-12 I 杭の面内載荷時における各分布曲線

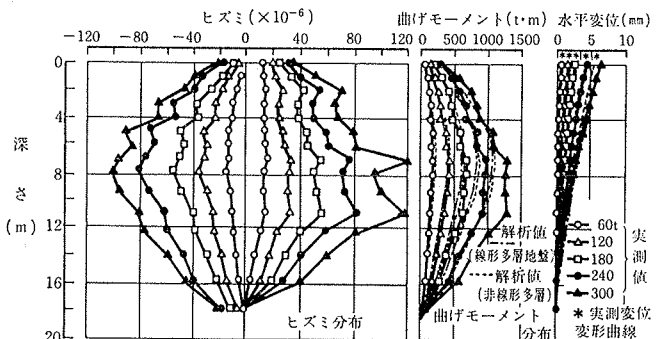


図-13 III 杭の面内載荷時における各分布曲線

WF 杭の面外載荷時におけるフープのヒズミ分布の一例として、II 杭 (面外) の深さ 3.1 m での測定結果を図-14に示した。この測定深さは、土圧測定結果によると、杭に作用する受働抵抗が最も大きくなる深さにほぼ対応している。図-14によると、最大荷重時においても、フープに発生するヒズミは最大値で 130×10^{-6} 程度とかなり小さな値になっている。なお、図には示していないが、II 杭 (面外) の深さ 1.6 m での測定結果、および III 杭 (面外) の測定結果とも、図-14 とほぼ同様の傾向を示している。

3.3. 側圧、および水圧の測定結果について

各試験杭について、水平載荷試験実施前の側圧、および水圧分布を図-15に示した。この図によると、側圧は各試験杭によって若干バラツキがあり、三角形分布を仮定して求めた側圧係数は、0.6~0.85の範囲内にある。また、水圧については、ほぼ静水圧分布を示している。

各杭の面外載荷時における側圧分布の一例として、III 杭 (面外) の測定結果を図-16に示した。この図は、水平載荷試験実施前の側圧をゼロとしたときの側圧変動量を示している。図-16によると、加力方向前面では側圧が増加し、背面側では逆に側圧が減少している。なお、背面側の GL, -1 m 付近の側圧値が 120 ton 以上の荷重段階で一定値を示しているが、これは、杭背面の地盤が主働状態に入ったためと考えられる。同図に示す加力方向前面の側圧増加量 ΔP_p と背面側の側圧減少量 ΔP_a の和 ($\Delta P_p + \Delta P_a$) が、地盤の抵抗力として杭に作用するこ

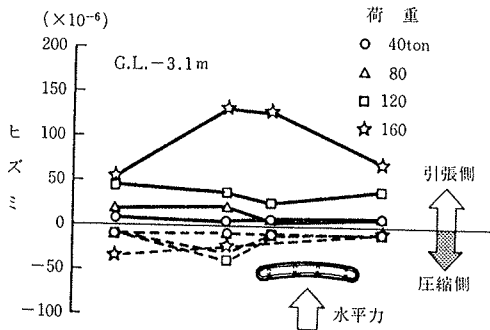


図-14 フープのヒズミ分布 (II 杭, 面外)

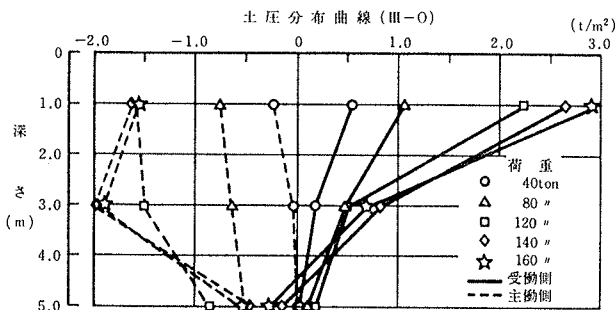


図-16 載荷時の側圧・水圧分布

とになる。この地盤の抵抗力 P と、図-11に示す変形曲線から求めた側圧測定位置での杭の水平変位 y との関係を図-17に示した。この図によると、 p と y との間には、ほぼ次式の関係が成立する。

$$p \propto y^{0.5}$$

3.4. 弾性床土上の梁としての解析 (その1)

(線形多層地盤)

WF 杭を弾性床土上の梁として本試験結果の解析を行なった。この解析においては、杭の曲げ剛性を深さ方向に一定と仮定したので、水平載荷時に杭体に曲げひび割れが発生したものについては、曲げひび割れ発生前の低荷重域を解析の対象とした。また、各杭の面外載荷時に関しては、杭の曲げ剛性が比較的小さく、杭の水平抵抗に支配的な影響を与える地盤が、上部数 m の比較的均質な砂層と考えられることから、杭長を無限長、地盤を深さ方向に一様と仮定した。一方、各杭の面内載荷時に関しては、既述のように、杭全体が剛体的に回転するという短杭的な挙動がみられることから、杭頭部から杭先端部までの地盤すべてが杭の水平抵抗に関与すると考えられる。そこで、WF 杭を短杭として扱うこととし、地盤、および杭を図-1に示す地層区分に応じて3層に分割し、多層系に拡張した弾性床土上の梁に関する微分方程式の解を用いて解析した

(下式参照)。

$$EI_j \frac{d^4 y_j}{dx_j^4} + P_j = 0 \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

EI_j : j 層における杭の曲げ剛性 ($kg \cdot cm^2$)

y_j : 水平変位 (cm)

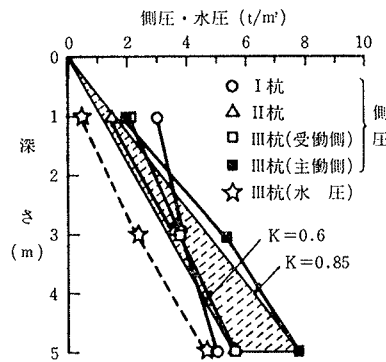


図-15 載荷前の側圧分布 (III 杭, 面外)

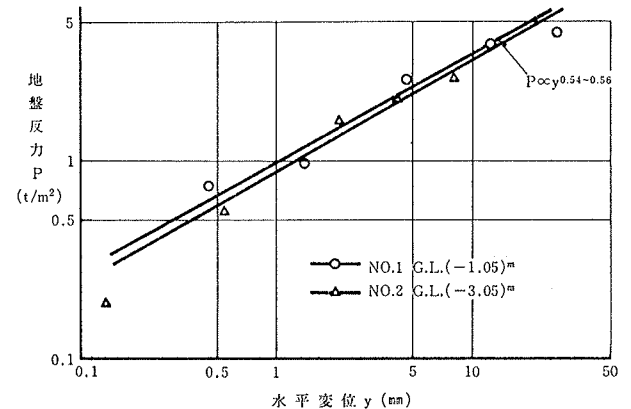


図-17 地盤反力~水平変位の関係 (III 杭, 面外)

x_j : 地表面からの深さ (cm)

P_j : 地盤の抵抗力 (kg/cm)

WF 杭に作用する地盤の抵抗力 P_j としては、図-18 に示すように、面外方向については杭前面に受働抵抗 P_{pj} のみが、また、面内方向に関しては、前報¹⁾で述べたように、杭前面に受働抵抗 P_{pj} 、杭側面に摩擦抵抗 P_{fj} が作用するものと仮定し、 P_{pj} 、および P_{fj} をそれぞれ地盤反力係数で評価することにした (下式参照)。

$$P_j = P_{pj} + P_{fj} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$= k_{pj} B_1 y_j + 2k_f B_2 y_j \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 k_{pj} : 受働抵抗に関する地盤反力係数 (kg/cm³)

k_f : 摩擦抵抗に関する地盤反力係数 (kg/cm³)

B_1 : WF 杭断面の見付け幅 (cm) } 図-18

B_2 : WF 杭断面の側面の長さ (cm) } 参照

また、面内載荷時については、既述のように、WF 杭を有限長杭として扱ったので、杭先端部に鉛直地盤反力による回転バネと、杭底面に作用する摩擦抵抗によるバネを与えた。これらのバネは、LLT 試験結果から杭先端部の地盤の変形係数を推定し、弾性理論式を用いて求めた。

各杭の面外載荷時については、各荷重段階毎に、上記の解析法による杭頭変位の解析値と実測値が一致するように、受働抵抗に関する地盤反力係数 k_p を逆算し、これと地表面変位との関係を両対数紙上にプロットして図-19に示した。この図によると、各杭の場合とも、 k_p は地表面変位の平方根に逆比例する傾向が認められる。また、 k_p と杭の見付け幅 B_1 との関係を地表面変位をパラメータとして両対数紙上にプロットし、図-20に示した。この図によると、前報¹⁾の室内模型実験結果と同様、 k_p は杭幅の平方根に逆比例する傾向が認められるものの、II 杭 (杭の見付け幅 4.4 m) と III 杭 (杭の見付け幅 6.6 m) の k_p 値はほぼ等しく、杭の見付け幅がある程度以上大きくなると、 k_p 値は一定値に収れんする傾向も認められる。

各杭の面内載荷時については、初めに図-20から杭の見付け幅 60 cm に対応する上部砂層の k_{pj} を推定し、次に(3)式が成立するものとして、杭頭変位の解析値が実測

値に一致するように、試行錯誤的に k_{fj} を求めた。なお、本解析では、地層を3層に区分しているため、中間粘土層、および下部砂レキ層における k_{pj} は、別報²⁾と同様、LLT 試験によって求めた各地層間の変形係数の比率が、各地層における k_{pj} 値の比率に等しいと仮定し、上記の上部砂層における k_{pj} を基準として求めた。また、各地層の摩擦抵抗に関する地盤反力係数 k_f は、各地層における最大摩擦抵抗が下式で表わされるものとし、各地層間の最大摩擦抵抗の比率が、各地層における k_{fj} 値の比率に等しいと仮定して求めた。

$$\text{砂質土層の最大摩擦抵抗 } f_y = N/20 \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots(4)$$

$$\text{粘性土層の最大摩擦抵抗 } f_y = q_u/2 \text{ kg/cm}^2 \quad \dots\dots(5)$$

以上のようにして求めた上部砂層 k_{fj} と WF 杭の側面の長さ B_2 との関係を、地表面変位をパラメータとして図-21に示した。この図によると、 k_{fj} は B_2 に関係なくほぼ一定値を示している。すなわち、(3)式において、受働抵抗に関する地盤反力係数 k_{pj} は、杭の見付け幅に応じて変化するが、摩擦抵抗に関する地盤反力係数 k_{fj} は、杭側面の長さに関係なく一定となることがわかる。

上記の逆算 k_{pj} 値、および逆算 k_{fj} 値を用い、本解析法によって求めた各試験杭の曲げモーメント分布曲線および変形曲線を図-11~13中に1点鎖線で示した。これらの図によると、各試験杭とも、解析値は実測値と比較的良好に対応しており、杭体に曲げひび割れが発生する前の低荷重域については、本解析法を水平力を受ける WF 杭の解析に適用できることが明らかになった。

3.5. 弾性床土上の梁としての解析 (その2)

(非線形多層地盤)

弾性床土上の梁に関する微分方程式の解を多層系に拡張し、各層における地盤の非線形性、および杭体の曲げひ

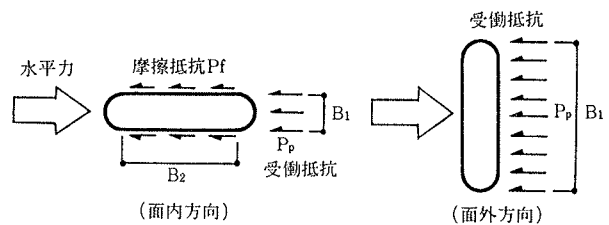


図-18 WF 杭に作用する地盤の抵抗要素

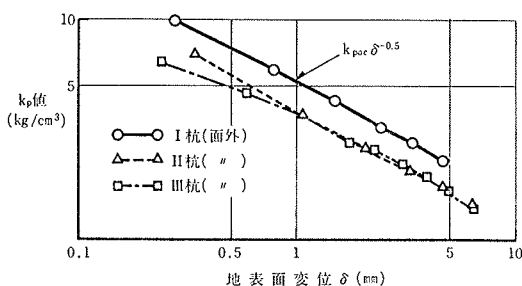


図-19 $k_p \sim$ 地表面変位の関係

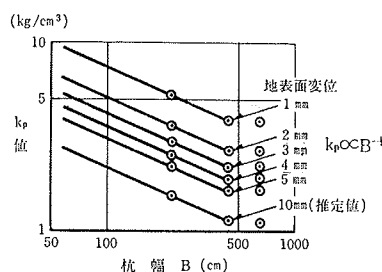


図-20 $k_{pj} \sim$ 杭の見付け幅の関係

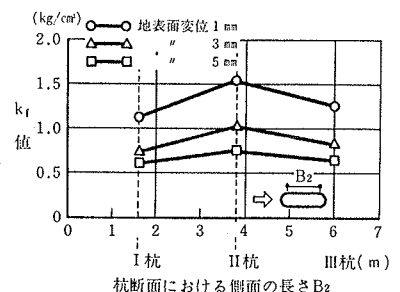


図-21 $k_{fj} \sim B_2$ の関係

び割れ発生にともなう曲げ剛性の低下の影響を考慮に入れた解析法を用いて、本試験結果を解析した。なお、解析法の詳細については、文献^{2),3)}を参照されたい。

地盤は、“弾性床上の梁としての解析(その1)”と同様、大きく3地層に区分し、各区分内の地盤定数は一定と仮定した。なお、実際の解析は、各試験杭の曲げ剛性に応じて各地層区分をさらに細分割し、全分割数を15~21として行なった。これは、地盤の非線形性、および杭体の曲げ剛性低下の影響をより正確に解析結果に反映させるためである。各層における地盤の抵抗力としては、3章4節と同様、WFの面方向については杭前面に受働抵抗 P_{pj} のみが、また面内方向に関しては、杭前面に受働抵抗 P_{pj} 、杭側面に摩擦抵抗 P_{fj} が作用すると仮定した(図-18、および(2)式参照)。 P_{pj} 、および P_{fj} は、本実験の側圧測定結果、過去に実施した WF 杭の水平載荷試験結果等を参考として、それぞれ下式で表わされると仮定した。

$$\text{受働抵抗 } P_{pj} = k'_{pj} y_j^{0.5} \times B_1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{但し, } P_{pj} \leq p_{yj} \times B_1 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{摩擦抵抗 } y_j \leq y_0 \text{ のとき } P_{fj} = k'_{fj} y_j \times 2B_2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$y_j > y_0 \text{ のとき } P_{fj} = f_{yj} \times 2B_2 \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 k'_{pj} : 受働抵抗に関する地盤常数 (kg/cm^{2.5})

p_{yj} : 最大受働抵抗 (kg/cm²)

k'_{fj} : 摩擦抵抗に関する地盤反力係数 (kg/cm³)

f_{yj} : 最大摩擦抵抗 (kg/cm²)

y_0 : 摩擦抵抗が最大値に達するときの水平変位 (cm)

その他の記号については3章4節参照

以上のように仮定した受働抵抗~水平変位の関係、および摩擦抵抗~水平変位の関係をそれぞれ図-22, 23に示した。

各試験杭の面外方向について、荷重~水平変位量曲線の実測値と解析値が概略一致するように試行錯誤的に受働抵抗に関する地盤常数 k'_{pj} 、および最大受働抵抗 p_{yj} を求めた。その際、各地層間の k'_{pj} の比率は、3章4節と同様、LLT 試験から求めた各地層における地盤の変形係数の比率に等しいと仮定した。このようにして求めた k'_{pj} の一例として、上部砂層の k'_{pj} と WF 杭の見付け幅 B_1 との関係を図-24に示した。この図によると、 k'_{pj} は、図-20に示す k_{pj} と同様、 B_1 が4~5m以下の範囲内では B_1 の平方根に逆比例するが、 B_1 が上記の値以上になると一定値に収れんする傾向が認められる。また、最大受働抵抗 p_{yj}

は、ランキンの受働土圧の6.2倍としたとき、解析値と実測値が最も良く対応することがわかった。

各試験杭の面内方向については、図-24に示す関係から、面内方向の杭の見付け幅 60 cm に対応する k_{pj} を決定し、さらに、各 WF 杭の荷重~水平変位量曲線の実測値と解析値が概略一致するように試行錯誤的に摩擦抵抗に関する地盤反力係数 k'_{fj} を求めた。このようにして求めた k'_{fj} と WF 杭断面における側面の長さ B_2 との関係を図-25に示した。この図によると、 k'_{fj} は、図-21に示す k_{fj} と同様、 B_2 に関係なくほぼ一定の値を示しており、地盤によって一義的に決まることがわかる。なお、面内方向については、WF 杭先端部の境界条件として、“弾性床上の梁としての解析(その2)”と同様の回転バネと摩擦抵抗によるバネを与えている。

各試験杭の荷重~水平変位量曲線について、上記の地盤定数を用いて求めた解析値と実測値との比較を図-7に示した。この図によると、解析値は実測値にかなり良く一致している。また、各試験杭の曲げモーメント分布曲線、および変形曲線について、解析値と実測値の比較例を図-11~13中に点線で示した。この図によると、杭体に曲げひび割れが発生する前の低荷重域においては、曲げモーメント、変形とも、本解析値は、実測値と比較的良く一致している。しかしながら、曲げひび割れ発生後の高荷重域においては、解析値と実測値は概略合っているものの、WF 杭下部で、解析値は実測値より小さくなる傾向が認められる。これは、本解析においては、地盤を加圧後、荷重をゼロにもどしても変形が残留する

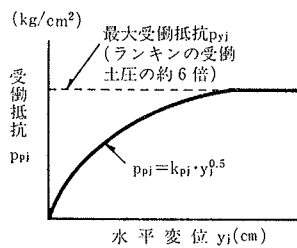


図-22 受働抵抗~水平変位

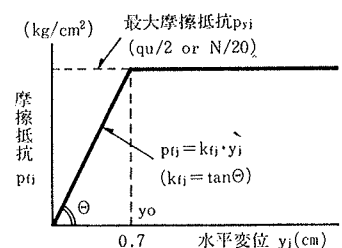


図-23 摩擦抵抗~水平変位

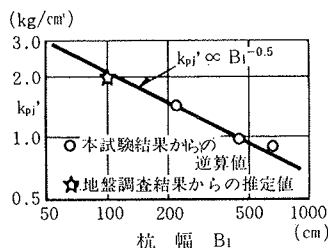


図-24 $k'_{pj} \sim B_1$ の関係

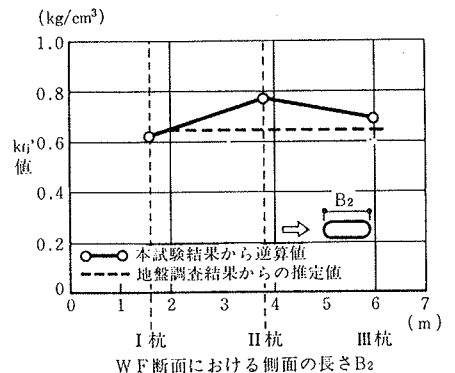


図-25 $k'_{fj} \sim B_2$ の関係

いう応力履歴の影響が考慮されていないことが、主な原因と推測されるが、今後さらに検討が必要であろう。

3.6. 解析に使用した地盤定数と地盤調査結果との関係について

解析に使用した地盤定数と地盤調査結果との関係について検討を試みた。“弾性床土上の梁としての解析（その1）”において使用した地盤定数と、地盤調査結果から推定した地盤定数（以下、単に推定値と呼称する）との比較を表一2に示した。なお、同表中の k_{pj} は、杭の見付け幅 100 cm、地表面変位 1 cm のときの値である。 k_{pj} の推定値は、日本道路協会「道路標示方書・同解説」に示されている杭基礎の水平地盤反力係数の推定法に準拠し、LLT 試験から求めた地盤の変形係数を用いて計算した。また、 k_{rj} については、大胆ではあるが、別報を参考とし、杭と地盤との相対変位が 1 cm になったとき、摩擦抵抗が(4)、(5)式に示す最大値に達するものと仮定し、最大摩擦抵抗を 1 cm で除した値として求めてみた。表一2によると、このようにして求めた推定値は、解析に使用した地盤定数と比較して若干の差異はあるものの、概略対応している。

“弾性床土上の梁としての解析（その2）”において使用した地盤定数と、地盤調査結果から求めた推定値との比較を表一3に示した。なお、同表中の k'_{pj} は、杭の見付け幅 100 cm のときの値である。 k'_{pj} は、林らが提案した、港研方式の C 型地盤の地盤常数 k_c と N 値との関係を示す図表⁴⁾が、杭の見付け幅 100 cm に対応する値を与えるものと仮定して、N 値から求めた。また、 k'_{rj} は、“弾性床土上の梁としての解析（その1）”と同様な方法で推定したが、本解析法に関しては最大摩擦抵抗に達するときの杭と地盤との相対変位を 0.7 cm と仮定すると、推定値と解析に使用した k'_{rj} との対応が良くなることがわかった（図一23）参照。

以上、かなり大胆な仮定に基づいて解析に使用する地

盤定数を推定した。今後、この種のデータを蓄積して、本推定法の適用性を検討していく必要がある。

4. まとめ

突大の WF 杭に対する水平載荷試験結果から、下記の点が明らかになった。

(1) WF 杭は、水平力に対して方向性を有しており、面内方向に対して非常に大きな水平抵抗力を有している。両方向の水平抵抗力の差異は、杭断面の辺長比（長辺/短辺）が大きいほど増大する傾向がある。

(2) WF 杭は、面外方向に水平力を受けると、杭の曲げ剛性が比較的小さいので長杭的な挙動を示す。一方、面内方向については、断面の辺長比が小さな杭は長杭的な挙動を示すが、辺長比の増加にともない、次第に短杭的な挙動へと移行していく傾向がある。

(3) WF 杭に作用する地盤の抵抗力を杭前面の受働抵抗と杭側面の摩擦抵抗とに分離し、それぞれを地盤反力係数で評価することによって、WF 杭を弾性床土上の梁として扱うことができる。

参考文献

- 1) 金谷, 茶谷: WALL FOUNDATION の水平抵抗に関する研究 (その1), 大林組技術研究所報, No. 25, (1982), pp. 65~74
- 2) 茶谷, 菊地, 他: 連壁剛体基礎の水平耐力特性について, 大林組技術研究所報, No. 29, (1984), pp. 109~118
- 3) 古藤田, 風間, 他: くい材の塑性性状を加味した解析法 (その1~その2), 第12回土質工学研究発表会発表講演集, (昭和52.4), pp. 801~808
- 4) 横山幸満: 杭構造物の計算法と計算例, 山海堂, (昭和52), pp. 113~114

地層区分	受働抵抗に関する地盤反力係数 k_{ij} (kg/cm ²)		摩擦抵抗に関する地盤反力係数 k_{rj} (kg/cm ²)	
	解析に使用した値	地盤調査結果からの推定値*	解析に使用した値	地盤調査結果からの推定値
砂層	2.2	1.6	0.49	0.45
粘土層	1.4	1.1	0.57	0.50
砂レキ層	6.0	4.5	2.30	2.10

* 日本道路協会「道路示方書・同解説」の推定法による。

表一2 地盤定数〔弾性床土上の梁とした解析（その1）〕

地層名	受働抵抗に関する地盤定数		摩擦抵抗に関する地盤定数				
	受働抵抗に関する地盤定数 k'_{pj} (kg/cm ^{2.3})	最大受働抵抗	摩擦抵抗に関する地盤反力係数 k'_{rj} (kg/cm ²)		最大摩擦抵抗 f_{rj} (kg/cm ²)		
			解析に使用した値	地盤調査結果からの推定値*	解析に使用した値	地盤調査結果からの推定値	
砂層	2.0	2.0	ランキン・レガールの受働土圧の6.2倍	0.69	0.64	0.48	0.45
粘土層	1.3	1.4	同上	0.81	0.71	0.57	0.50
砂レキ層	5.5	5.0	同上	3.3	3.0	2.3	2.1

* 港研方式の C 型地盤についての k_c - N 値の関係図表による。

表一3 地盤定数〔弾性床土上の梁とした解析（その2）〕